

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
47, bld des Invalides
PARIS VII°

COTE DE CLASSEMENT N° 2881

PEDOLOGIE

RAPPORT DE MISSION AU GEZIRA (SOUDAN ANGLO-EGYPTIEN)

par

B. LEPOUTRE

n° 2881

Gouv.G¹ A.E.F.-
Bur.Sols - nov.1955

AFRIQUE EQUATORIALE FRANCAISE

SERVICE DE L'AGRICULTURE

TERRITOIRE DU TCHAD

RAPPORT DE MISSION AU GERIRA

S O U D A N

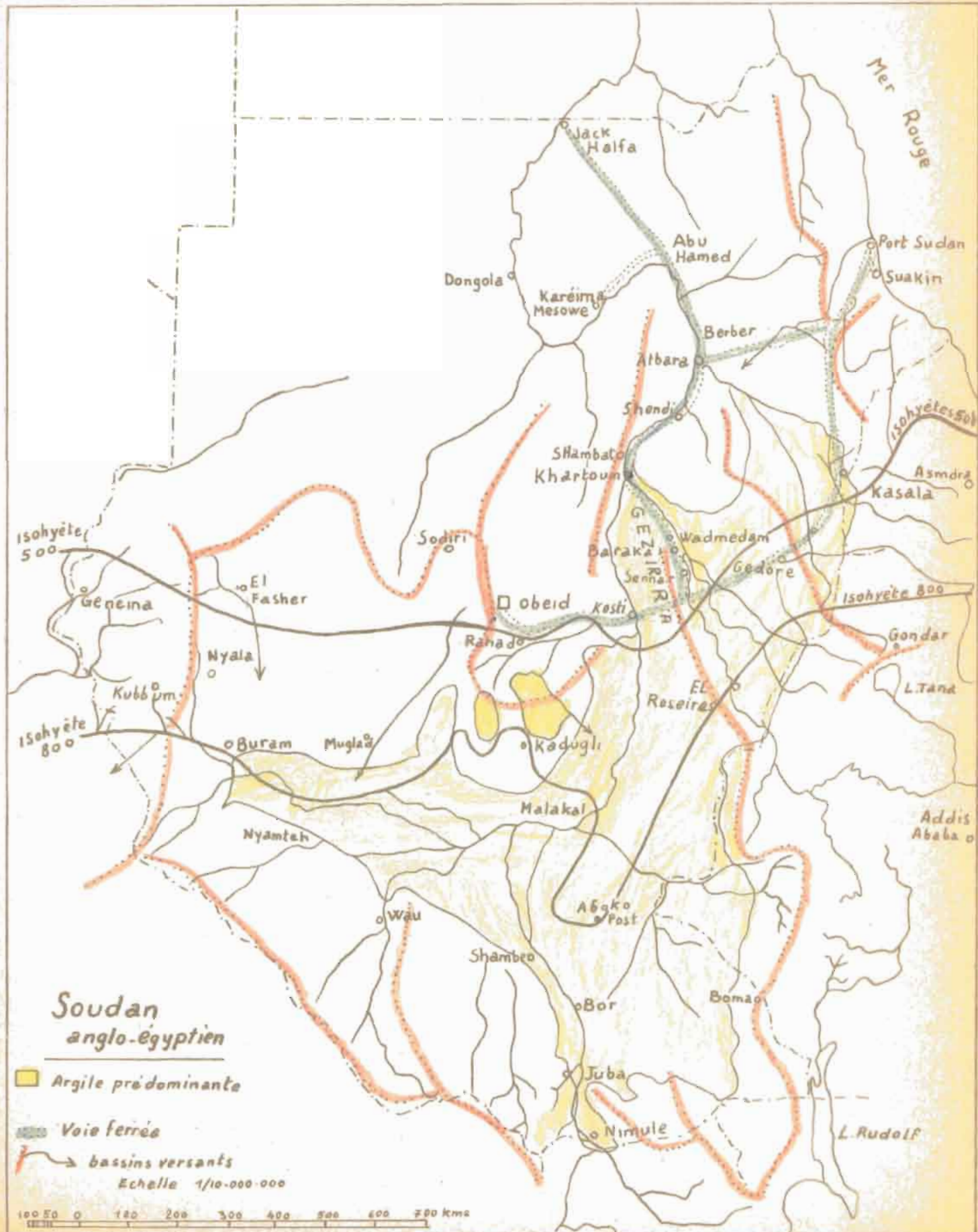
B. LEPOUTRE

Maitre de Recherches

NOVEMBRE 1955

S O M M A I R E

INTRODUCTION	page	3
GENERALITES		4
MILIEU ECOLOGIQUE		
- Climat		5
- Géologie		6
- Végétation		8
- Réseau hydrographique - la nappe phréatique		9
LES SOLS		
- Profil		II
- Caractéristiques chimiques		13
- Caractéristiques physiques		18
METHODES CULTURALES		
- Méthodes cultures		23
- Evolution du sol sous cultures		24
- Relation entre le sol et les rendements		27
- Détermination du choix des terrains utilisables		32
- Techniques d'amélioration des qualités physiques et chimiques du terrain		33
TABLEAU COMPARATIF DES SOLS DU SOUDAN ET DES SOLS DU TCHAD		37
CONCLUSION		39
ANNEXE - METHODES		
- Sodium uptake		I
- Sediment volume		I
- Sodium value		IV



INTRODUCTION

Le projet de mise en valeur des plaines inondées par des aménagements divers, la mise en place de systèmes d'irrigation, la présence de sols argileux compacts, souvent à alcali et même parfois salés, et le désir d'accroître la production cotonnière, sont autant de facteurs qui posent des problèmes nouveaux que les techniciens cherchent à résoudre actuellement au Tchad.

Il était donc du plus grand intérêt, dans ce but, d'essayer de profiter des résultats déjà acquis dans ce domaine par d'autres territoires. Parmi ceux-ci, le Soudan offre le maximum d'analogie, par les conditions mêmes dans lesquelles est faite la culture cotonnière (milieu climatique, sols argileux, salés et à alcali) et par le fait aussi que des stations de recherches agronomiques comme celle de WAD MEDANI (GEZIRA RESEARCH FARM) ont accumulé des résultats sur ce sujet depuis plus de trente ans.

Deux missions ont donc été décidées, l'une pour étudier les conditions de production et de commercialisation du coton au Soudan (Rapport de mission au Soudan-E. HIBON-Mars-Avril 1955), et une autre pour l'étude des sols à coton de Gezira.

C'est cette dernière étude qui fait l'objet de ce rapport, et nous insistons sur le fait que toutes les questions générales, agricoles économiques ou sociales, ne se rattachant pas directement avec les sols n'ont été qu'effleurées, et que nous n'en parlerons que dans la mesure où elles peuvent avoir une incidence directe sur les conditions pédologiques.

Le nombre des régions visitées, a été assez réduit en raison des difficultés de transport, des horaires d'avion à respecter et de la durée du visa de séjour. Finalement, sur quatorze jours de séjour autorisés, huit ont été passés à la GEZIRA RESEARCH FARM de WAD MEDANI et un à la station de recherche de SHAMBAT au Nord de KARTHOUH, le départ de KARTHOUH ayant dû être fixé quatre jours avant expiration du visa.

GENERALITES

La plaine de GEZIRA

C'est la zone principale de culture cotonnière irriguée. Elle s'étend entre le Nil Blanc et le Nil bleu depuis le barrage de SENNAR (13,33 ° LN) au Sud, jusqu'au confluent des deux Nil à KHARTOUM (15,37 ° LN).

Cette plaine constituée par des alluvions du Nil bleu essentiellement, est irriguée par gravité, l'eau provenant du Nil bleu (barrage de SENNAR). Un canal principal, et des canaux secondaires utilisés pour cela empruntent la pente générale Sud-Nord et Est-Ouest .

On verra sur la carte qu'une partie seulement de la plaine est mise en valeur par ce système d'irrigation. Seule la limitation des quantités d'eau utilisables pour l'irrigation est à l'origine de cet état de chose. Les eaux du Nil bleu doivent en effet couler librement jusqu'au delta Egyptien à partir du 1er Janvier .

Les extensions actuelles se situent donc le long du Nil blanc où des périmètres d'irrigation par pompage (PUMP SCHEME) ont été établis .

Il existe également un PUMP SCHEME sur la rive droite du Nil bleu à hauteur de TURABI .

LE MILIEU ECOLOGIQUE

I/ LE CLIMAT

PLUVIOMETRIE -

Elle varie considérablement du Sud au Nord comme le montrent les valeurs suivantes :

SENNAR	471 mm.
WAD MEDANI	381
KOSTI	370
EL DUEIM	332
KHARTOUM	161

Ces valeurs correspondent aux moyennes annuelles sur 31 ans .

REPARTITION DANS L'ANNEE :

Station	Lat.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KHARTOUM	15.37	0	0	0	1	4	9	52	75	18	4	0	0
W.MEDANI		0	0	0	3	15	33	130	129	55	12	1	0
SENNAR	13.33	0	0	0	3	24	60	119	160	70	17	1	0

TEMPERATURE ET HUMIDITE

WAD MEDANI

MOIS	TEMP. min.	TEMP. max.	HUM.rel. 8H	HUM.rel. 14 H.
J	14.3	34.1	36	16
F	15	35.4	26	12
M	17.8	38.6	21	8
A	20.9	41.2	20	9
M	23.8	41.2	31	14
J	24.3	39.5	48	22
J	22.6	35.6	67	37
A	22.1	33.6	77	48
S	22	35.8	70	39
O	21.9	38.6	50	23
N	18.4	37	36	16
D	15.3	34.6	39	17

2/- GEOLOGIE -

Considérant l'homogénéité des sédiments argileux dans toute la plaine de GEZIRA, certains auteurs ont d'abord pensé à une origine éolienne de la roche mère.

Cependant, les dépôts sont souvent différents et particulièrement dans la teneur en sels des profils observés.

Une étude plus poussée, de ANDREW, a montré alors que les minéraux subsistants dans les sables de la plaine de GEZIRA étaient étroitement liés à ceux contenus dans les roches basiques qui constituent le bassin versant du Nil bleu en ETHIOPIE. Ceci semble donc fixer l'origine des sédiments auxquels nous avons à faire.

Enfin les études de TOTHILL viennent confirmer cette hypothèse. Parmi les coquilles de mollusques trouvées dans la partie supérieure des sols de GEZIRA, il a déterminé *Ampullaria Vernei* et *Lanistes carinatus*. Or ces espèces se rencontrent encore actuellement dans des zones marécageuses ou tout au moins humides pendant une partie de l'année. Elles sont d'ailleurs amphibies. Dans ces conditions il est à peu près certain que les argiles les contenant (Im80 en moyenne dans toute la plaine de GEZIRA) se sont déposées sous inondation ou en tout cas en milieu nécessairement inondé pendant une période de l'année. Ces conditions n'existant plus actuellement il ressort de ces études que nous pouvons considérer avec certitude les sédiments de la plaine inter Nils comme formés par l'alluvionnement du Nil bleu, alluvionnement provenant des matériaux transportés par le fleuve depuis son bassin versant éthiopien.

D'autre part, la présence dans les horizons supérieurs de *Limicolaria flammata*, indique une apparition ultérieure, vraisemblablement quand les conditions de milieu pour *Ampullaria* étaient devenues trop sèches. En conséquence avec l'étude de certaines poteries trouvées dans la région de KHARTOUM, ARKEL a pu dater cette époque entre 5.000 et 3.000 avant J-C. On ne trouve plus cette dernière espèce à présent ce qui montre que les conditions climatiques ont évolué vers la sécheresse.

Enfin la présence de *Cleopatra bulimoides* liée encore actuellement aux zones d'inondation du Nil bleu prouve qu'il s'agissait bien d'une inondation du fleuve et non d'un milieu humide créé par les eaux de précipitation et leur stagnation.

TOTHILL estime que le dépôt des sédiments de la plaine de GEZIRA se situe vers 50.000 à 10.000 ans avant J-C.

De toutes manières, excepté dans les colluvionnements récents du Nil blanc qui sont toujours très hétérogènes, on ne distingue pas dans les sols de GEZIRA de niveaux d'alluvionnements, et l'uniformité du profil s'explique par la "circulation du sol" du haut vers le bas par le moyen des fortes de retrait. Seules les variations de salure existent comme nous le verrons; il a été prouvé que les sulfates en assez grandes quantités provenaient des eaux du Nil bleu et s'étaient maintenus dans la partie supérieure du sol (2m30) sans s'infiltrer dans les niveaux sableux profonds. Ceci suppose des conditions climatiques saisonnières beaucoup plus sèches que celles de notre époque d'une part, et que les sulfates trouvés dans les sols de la région du Nil blanc n'étaient pas apportés par ce dernier fleuve.

On a donc à faire ici à des sols récents sur alluvions argilo limoneuses du Nil bleu provenant de la désagrégation et de l'altération des roches basiques du haut bassin versant du fleuve.

3/- VEGETATION -

La plaine de GEZIRA correspond à la zone sahélienne de végétation. La mise en valeur de la plaine qui a supprimé toute la végétation arbustive et arborée ne nous a pas permis de nombreuses déterminations. Toutefois, dans les zones cultivées, nous avons pu noter :

Acacia arabica
Ziziphus spinachristi
Balanites egyptiaca
Acacia sieberiana
Leptadenia spartium
Callotris procera
Capparis decidua
Gymnosporia senegalensis

Sur une parcelle de la ferme de WAD MEDANI, qui n'a jamais été cultivée, nous avons noté exclusivement :

Panicum sp.
Cymbopogon sp.

Dans la jachère cultivée, une graminée envahissante s'établit :

l'ankoj : *Ischeamum brachyaterum*
et une cypéracée : le seid : *Cyperus rotundus*
qui est particulièrement difficile à éliminer en raison de ses bulbes et de ses rhizomes.

4/- LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

LA NAPPE PHREATIQUE

Le réseau hydrographique se réduit aux deux cours du Nil Blanc à l'ouest et du Nil Bleu à l'est .

Les débits moyens mensuels suivants donnent une idée du régime de ces deux fleuves dans la partie de leur cours qui nous intéresse :

RIVIERE et lieu	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nil blanc à Khartoum	80	60	48	45	47	54	50	51	99	121	104	93
Nil bleu à Khartoum	29	19	13	8	15	43	189	505	491	263	103	51

Deux barrages sont construits au Soudan, l'un sur le Nil blanc à Jebel Aulia (56 km. au Sud de Khartoum) l'autre sur le Nil bleu à Sennar .

Ces deux barrages permettent surtout un stockage de l'eau qui sera utilisée à partir de Janvier au nord de Khartoum (40.000 ha) pour des petites installations de pompage, mais surtout en Egypte, où à cette période de l'année aucune eau du Nil n'atteint la Méditerranée .

En ce qui concerne la plaine de GEZIRA, l'extension des zones irriguées est limitée maintenant par le fait que presque toute l'eau du Nil et les eaux de stockage sont utilisées pendant la période critique qui constitue la première moitié de l'année .

Les possibilités d'utilisation des eaux des deux Nils semblent donc avoir atteint un stade maximum. La dernière possibilité serait d'éviter les pertes d'eau par inondation du Nil blanc en amont à partir de Montgalla. On a en effet calculé que ces pertes d'eau atteignaient 34.106 m³ entre l'amont et l'aval de cette zone marécageuse. Les pertes d'eau en Mars, Avril, Mai et Juin, elles-mêmes, sont supérieures à la quantité d'eau prélevée pendant cette période par les irrigations .

.... /

Une solution à ce problème permettrait alors de ne pas ouvrir les barrages en Janvier, à la période où l'Egypte a besoin de recevoir les ressources d'eau correspondantes .

La nappe phréatique ne pose aucun problème puisque son niveau est très profond et est estimé en moyenne à 27 mètres .

La variation de ce niveau n'influe donc absolument pas dans l'évolution du sol .

LES SOLS

SOLS DE GEZIRA -

A/- PROFIL -

Les sols de GEZIRA proprement dits (entre les deux Nils) présentent une uniformité remarquable et telle que JEWITT dans son ouvrage "Gezira Soil" peut en donner un profil type que l'on retrouve dans toute la plaine avec quelques variations dans l'importance des horizons décrits .

Comme nous le verrons la principale variation observée est dans la teneur en sels, d'une part, et dans la profondeur de l'horizon plus salé, d'autre part .

Encore faut-il expliquer partiellement ces variations dans la nature différente des alluvionnements .

- | | |
|--------|--|
| 0-60 | brun foncé, nombreux nodules de carbonate de Ca gris, noir, argilo-limoneux; |
| 40-60 | inclusion de lentilles grises; |
| 60-120 | gris, nombreux nodules de carbonate de Ca gris noir en moins grand nombre mais associés à des nodules et concrétions tendres et blanches.
Nombreuses concrétions individualisées de gypse en forme lenticulaire (d - 1 mm jusqu'à 5 % cent. argileux. |
| 120 - | Profondeur considérable horizon Jaunâtre |

L'ensemble du sol est très alcalin avec un PH de surface de 8,5 - 9,5. Le niveau de l'horizon jaunâtre est variable et peut se rapprocher de la surface, l'horizon gris étant lui-même plus proche .

...../.....

Voici un autre profil que nous avons observé à la GEZIRA RESEARCH FARM :

Sol type après deux ans de jachères, irrigué depuis 20 ans .

- 0-3 brun, finement polyédrique, structure très fine ($d = 2$ à 5 mm) texture limono-argileux, grand nombre de petits pisolithes brun noir de CO_3 presque pur. Il ne peut pas être question ici de cohésion .
Quelques morceaux de coquilles .
- 3-30 brun un peu foncé, structure fine à moyennement polyédrique ($d = 3$ à 4 cm,) sauf dans les 25 premiers centimètres où elle est lamellaire, s'inscrivant dans une structure prismatique marquée par de plus larges fentes verticales (3 ou 4 cm) qui étaient partiellement masquées en surface par l'horizon précédent, argilo-limoneux avec de nombreux pisolithes de CO_3 brun noir quelques brisures de coquilles .
La cohésion est remarquablement faible quoique l'on puisse noter dans les éclats les plaquettes caractéristiques de la dispersion due au sodium .
Très poreux .
- 70-100 Horizon de transition, la couleur change, devient grise, la structure plus large, et apparaissent quelques taches de concrétionnement blanches friables. Vers 90 cm apparaissent les premières lentilles de gypse disposées d'une façon tout à fait variable .
- 100-150 gris brun, polyédrique moyen ($d = 7$ à 8 cm) avec nombreuses taches, plutôt que amas, calcaires blanches friables. Nombreuses lentilles de gypse.
Argileux, avec une cohésion plus forte des éléments, mais à ce niveau, on arrive encore à émietter chaque élément de la structure par simple compression dans la main.
Porosité apparemment beaucoup plus faible .
- 150 Apparition de l'horizon argileux jaunâtre avec encore des amas blancs et des lentilles de gypse cristallisées.

De la description de ce profil, retenons surtout les caractères suivants dont nous reparlerons plus loin et en particulier dans la comparaison avec les sols du Tchad :

- 1^o/- Présence d'un horizon de surface à structure extrêmement fine dans lequel le pied s'enforce et qui masque les fentes de retrait (self mulching);
- 2^o/- Cohésion extrêmement faible ;
- 3^o/- Peu de nodules calcaires blancs durcis, présence de gypse cristallisé en profondeur;
- 4^o/- Apparence très limoneuse des 70 cm de surface alors que l'analyse donne toujours 55 à 60 p.cent d'argile .

B/- CARACTERISTIQUES CHIMIQUES -

Nous donnons ci-dessous quelques tableaux d'analyses empruntés à JEWITT (Gezira Soil);

Tableau X

Distribution des sels dans le profil :
(sels totaux p.cent de terre)

Parcelle n°	202	206	209	211	212	213
0,15 cm	0.084 p.cent	0.127	0.066	0.063	0.079	0.083
15-30	0.072	0.112	0.088	0.088	0.107	0.097
30-45	0.090	0.136	0.101	0.104	0.137	0.140
45-60	0.097	0.136	0.114	0.109	0.117	0.162
60-75	0.106	0.143	0.147	0.134	0.110	0.223
75-90	0.118	0.160	0.269	0.275	0.121	0.284
90-105	0.178	0.340	0.475	0.347	0.219	0.461
105-120	0.314	0.539	0.508	0.540	0.303	0.562
120-135	0.411	0.603	0.688	0.666	0.418	0.600
135-150	0.406	0.754	0.926	0.819	0.588	0.633
150-165	0.386	0.994	1.051	0.840	0.803	0.818
165-180	0.484	0.925	1.047	0.904	0.924	1.002

Tableau XVII

Analyses des sels solubles :

	0-30		30-60		60-90		90-120	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Porte au feu	2.58	1.13	0.89	1.53	0.58	1.33	0.46	1.49
SiO ₂	5.56	5.42	4.72	4.43	3.405	2.66	2.06	1.80
P ₂ O ₅	6.12	2.1	2.87	2.0	0.34	0.49	0.60	0.64
CO ₂	26.0	25.0	29.5	28.96	11.93	10.93	4.73	3.85
SO ₄	1.16	9.74	0.79	-	33.40	27.57	38.65	32.83
Cl	3.12	2.18	5.40	3.66	3.37	6.64	5.25	11.46
Na ₂ O	47.36	47.99	50.52	48.01	43.27	44.87	42.94	40.29
K ₂ O	3.53	1.51	1.87	4.34	2.47	3.55	2.26	2.81
CaO	2.21	2.27	1.41	1.63	1.35	1.314	1.65	2.74
MgO	-	-	0.16	-	-	0.149	0.46	0.37
Al ₂ O ₃)	1.07	0.65	0.65	0.51	0.37	0.219	-	0.20
Fe ₂ O ₃)								
P. cent de sels solubles	0.075	0.087	0.092	0.086	0.192	0.258	0.374	0.43

Tableau XV

Analyse totale :

SiO ₂ p. cent	48.28
Al ₂ O ₃	14.97
Fe ₂ O ₃	9.91
TiO ₂	2.31
MnO	0.28
CaO	7.33
MgO	1.37
K ₂ O	0.31
Na	0.41
P ₂ O ₅	0.12
CO ₂	4.71
Matières volatiles	9.44

Tableau XVI

Analyse totale des horizons supérieurs (0-2 mm)

47.60
18.74
12.74
1.33
0.03
2.88
4.56
0.94
0.87
10.44

Tableau XXIII

Bases échangeables :

La capacité en bases échangeables des sols de Gezira est d'environ de 50 meq pour 100 g. de sol, ou environ 1 meq. par gramme d'argile .

Les cations sont déplacés par le chlorure d'ammonium :

	A (CIN ⁺ H ₄ 0,2 N)					B (CIN ⁺ H ₄ 1,6 N)				
	Total	Mg	Ca	K	Na	Total	Mg	Ca	K	Na
<hr/>										
Parcelle 52										
G.R.F.										
0-15	38.3	4.6	29.6	0.5	3.3	59.6	6.6	46.6	1.4	4.7
15-30	38.7	5.2	28.2	0.6	4.3	59.8	6.2	46.5	1.2	5.0
30-45	38.3	5.0	26.7	0.6	5.6	59.6	7.8	43.6	1.2	6.6

La distribution moyenne des bases dans ces échantillons est :

Calcium	77 p.cent
Magnesium	12 p. cent
Potassium	2 p.cent
Sodium	9 p.cent.

Tableau XXV

Résultats d'analyses des sols de GEZIRA RESEARCH FARM :

Profondeurs	E.G.	S.G.	S.F.	L.	A.	Sel	pH	P205	N	Na
	p.cent							p.mille	value	
<hr/>										
0-30 cm	3	6	20	8	62	0.08	9.4	254	347	II
	4	6	22	7	61	0.08	9.5	292	331	IO
	3	6	23	9	60	0.08	9.1	299	263	IO
30-60	3	6	20	7	64	0.11	9.4	292	249	18
	3	9	19	9	59	0.09	9.3	285	266	15
	2	5	21	9	62	0.11	9.4	341	263	18

VARIATIONS --

a/- Sels dans le profil -

Il existe toujours un niveau où la teneur en sels s'accroît dans le profil subitement. Cet horizon est toujours constitué par les argiles grises où le sulfate de calcium apparaît sous forme de lentilles de gypse cristallisées .

Toutefois, la teneur en sels s'accroît généralement vers l'ouest et vers le nord :

- vers l'ouest, on estime que les sels ont été déposés par des eaux plus concentrées venues du Nil Bleu et s'étant chargées au fur et à mesure qu'elles s'approchaient du Nil Blanc;

- vers le nord, au contraire, on estime que le climat plus sec avec évaporation plus forte et pluviométrie plus faible a maintenu les sels à un niveau plus élevé dans le sol. Ajoutons que ce facteur vient se joindre l'incidence d'un alluvionnement généralement moins épais .

On peut avoir des salures telles que celles-ci .

Tableau XI

JEWITT (Gezira Soil)

Analyses effectuées sur des échantillons de sols prélevés tous les 16,5 cm sur 1,80 m.

Profondeur	P;cent
0 -16,5	0,7
16,5 -33	6,3
33, -49,5	10,4
49,5 -66	14,2
66 -82,5	15,8
82,5 -99	29,3
99 -115,5	17,0
115,5 -132	4,7
132 -148	1,3
148,5 -165	0,0
165 -181	0,3

...../.....

Nous précisons que ces types de sols ne sont pas cultivés en raison de leur salure trop élevée .

Pour les sols possédant davantage de sels, ceux-ci se situent plus haut dans le profil, mais jamais, même en surface, il n'y a de phénomène de remontée saline, même sous irrigation, les horizons de surfaces restant toujours moins salés que les horizons sous-jacents.

Par ailleurs, si on considère les valeurs de sodium données par les analyses des tableaux XV et XVI sur les 30 premiers centimètres d'une part et sur les 3 premiers d'autre part, on s'aperçoit qu'il y a une légère exsudation des sels sodiques juste sur la surface du sol. Ceci correspond aux très légères efflorescences blanches que nous avons pu observer sur le terrain au sommet des billons, mais la conclusion précédente prouve bien qu'il s'agit seulement là d'un phénomène qui ne joue que sur les quelques premiers centimètres de profondeur .

Enfin, bien que le taux de salure ne constitue pas la référence principale utilisée quant à la valeur du sol, le test principal étant le "sodium value", nous verrons que les taux salins sont généralement en correspondance et que la valeur limite est 5 p.mille dans les 90 premiers centimètres (échantillon moyen). Le taux ne dépasse que très rarement 1 à 2 p.mille dans les 30 premiers centimètres .

b/- Bases échangeables -

Les bases échangeables varient peu dans l'ensemble de la plaine de GEZIRA et sont en moyenne de 50 méq. gr. pour 100 gr. de sol, c'est-à-dire approximativement de 1 méq. gr. d'argile.

Précisons que nous avons à faire à des argiles montmorillonitiques .

Mais si les valeurs de bases échangeables de Ca et de K varient peu dans l'ensemble, par contre au fur et à mesure que l'on monte vers le nord le Na s'accroît comme le montrent les valeurs suivantes :

	Ca	K ₂ O	Na	Na/Ca p.cent
Turabi	43	0,9	12	30
Wad Medani	50	1,1	6	12
Hag Abdulla	51	1,2	4	8

C/- CARACTERISTIQUES PHYSIQUES -

a/- Composition granulométrique

Ces résultats sur 3 profils montrent l'uniformité de la composition granulométrique dans la profondeur.

On remarquera l'uniformité des taux d'argile en particulier. Il arrive cependant que ce taux d'argile puisse descendre jusqu'à 30 p. cent lorsque les sols sont en bordure du fleuve où l'alluvionnement peut occasionnellement être quelque peu hétérogène et plus généralement quand on va du sud au nord de la plaine. Précisons également que la fraction graviers supérieurs à 2mm. est surtout constituée par le pisolites de $CO_3 Ca$ décrits dans le profil

TABLEAU XIII JEWITT (Gezira Soil)

Profondeur	0- 30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180
	p. cent					
<u>Fosse 61 -</u>						
El. Gros.	1,2	0,6	1,8	1,3	0,2	0,1
S.G.	6.8	6.6	9.3	4.6	4.7	4.8
S.F.	19.1	19.6	18.4	11.3	11.3	20.4
Limon	13.3	13.6	19.8	20.00	21.4	13.1
Argile	59.5	59.6	50.7	63.0	62.6	61.6
<u>Fosse 67</u>						
El. Gros	1.5	1.8	2.1	1.5	2.6	2.4
S.G.	5.7	6.7	5.9	5.3	4.5	3.7
S.F.	16.0	17.1	18.5	17.0	18.3	18.0
Limon	16.0	16.0	13.0	17.1	15.6	19.0
Argile	60.6	58.5	60.4	59.2	59.0	56.9
<u>Fosse 73</u>						
El. Gros	4,2	3,9	3,3	1,4	1,0	5,6
S.G.	8.8	8.1	6.0	5.1	4.6	2.0
S.F.	13.6	13.3	12.6	14.0	16.3	13.6
Limon	18.6	18.0	19.0	17.7	18.4	22.4
Argile	54.9	56.8	59.0	61.	59.6	56.2

...../.....

Cette étonnante homogénéité souligne la remarquable régularité de l'alluvionnement d'une part, et le brassage continué par "circulation du sol" de la surface vers la profondeur par le moyen des fentes de retrait .

b/- Etat de dispersion des argiles -

La dispersion des argiles à l'eau, après agitation pendant 2 heures et sédimentation d'une heure, est mesurée par une simple analyse mécanique (échantillons prélevés tous les mois à partir de la saison cotonnière - sol irrigué).

Les résultats montrent que l'irrigation accroît la facilité de dispersion des argiles et que l'eau détériore donc, en général, la structure .

On peut d'ailleurs constater sur le terrain cette variation de structure en comparant la partie haute du profil ci-dessus où le sol n'a jamais été irrigué ni cultivé avec celui donné en début (p.12) :

- 0-I brun, finement polyédrique (presque particulaire), limono-argileux;
- I-10 brun, feuilleté, limono-argileux;
- 10-50 brun, polyédrique moyen (dans une structure prismatique plus large (fentes de retrait verticales de 2 à 3 cm);
- 50 etc....

On s'aperçoit que l'irrigation aurait tendance à accroître la structure feuilletée de surface, 25 cm contre 10 dans le profil ci-dessus.

Nous verrons que cette action de l'eau sur le sol est confirmée également par d'autres tests, tel que le "sediment volume".

L'action des divers cations fixés sur l'argile a été étudiée également et plus particulièrement le sodium :

...../.....

TABLEAU XVII JEWITT (Gezira Soil)

Sol brun de Gezira (60 p.cent d'argile)

Argile saturée par :	Li	Na	Mg	Témoin	Ca	NH ₄	K	H
Ind.de plasticité sup.	103	84	79	62	63	50	49	48
Ind.de plasticité inf.	22	24	23	22	21	28	27	28
Humidité équivalente	91	78	42	42	38	38	30	40
Densité apparente	2.11	2.7	2.01	2.02	2.78	1.70	1.45	1.65
Remontée capillaire	4	6	90	33	152	168	195	70

L'argile saturée de sodium voit ses propriétés modifiées considérablement :

Capacité de rétention en eau accrue, gonflement accru, facilité de circulation de l'eau (mesurée par la remontée capillaire) considérablement diminuée..

Les mêmes résultats ont été également obtenus en faisant varier le rapport Na/Ca.

Dispersion et sels - Degré de dispersion pour 3 profils sur sol non irrigué. Résultats donnés en p.cent ;

TABLEAU I6 (Soil of Sudan)

Profils	0-30	30-60	60-90	90-120	120-150	150-180
1	m.d 0.087	t.d 0.117	p.d 0.570	p.d 0.456	p.d 0.720	p.d 0.780
2	m.d 0.090	m.d 0.126	p.d 0.495	p.d 0.519	p.d 0.765	p.d 0.900
3	m.d 0.099	m.d 0.108	p.d 0.360	p.d 0.477	p.d 0.510	p.d 0.840

m.d : moyennement dispersé; t.d : très dispersé; p.d. : peu dispersé

Les résultats montrent le contraste bien connu entre la dispersion des argiles et les basses valeurs en sels solubles, et mettent en évidence l'action floculante des sels en profondeur .

c/- Permeabilité -

Aucune mesure n'est faite par la méthode de DARCY dans des sols aussi argileux et fissurés.

La méthode qui consiste à mesurer les humidités du sol à diverses profondeurs suffit pour donner une idée des variations de perméabilité comme le montrent les résultats suivants :

TABLEAU XXIX JEWITT (Gezira Soil)

pourcentage d'humidité sur des échantillons prélevés tous les 15 cm sur un profil de 180 cm ; ces mesures ont été effectuées après une irrigation.

	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120
A 32-3		35.1	32.9	29.3	23.8	21.8	22.6	23.5
B 7.4		10.8	15.6	17.5	20.1	21.3	22.9	23.6
C 32.4		35.3	32.1	25.8	21.4	21.2	21.8	23.2
		120-135	135-150	150-165	165-180			
A +		24.4	25.1	25.3	24.5			
B		23.6	23.4	22.2	21.6			
C		23.8	23.4	21.2	21.3			

- (+) A Coton en culture continue 9^e saison
B Jachère non irriguée depuis 8 ans
C Coton en rotation avec la jachère.

Il ressort de ces mesures que :

1/- La jachère nue comme elle est pratiquée à GEZIRA assèche le sol considérablement après les pluies ;

2/- L'eau d'irrigation ne pénètre pas au-delà de 90cm en profondeur et généralement jusqu'à 60cm.

Rappelons que l'irrigation est pratiquée sur le coton après la saison des pluies tous les 14-16 jours dans le Sud et tous les 10-12 jours dans les régions plus sèches du nord. En moyenne, 14 irrigations sont données, apportant au total 6.500m³ feddan, soient 15.000 m³/ha de septembre à mars. Chaque irrigation apporte donc un peu plus d'un millier de m³/ha.

..../....

D'autres expériences ont été conduites par inondation totale du sol pendant 3 et 14 jours et montrent que le sol ne s'humidifie que peu entre 90 et 120 cm de profondeur et plus du tout au-delà.

Dans les cas les plus favorables, l'eau apportée par une inondation de 14 jours n'atteint que 45 cm de profondeur. Dans les cas exceptionnellement favorables l'eau peut atteindre 180 cm.

METHODES CULTURALES

Evolution du sol sous culture

Relation entre les propriétés du sol et les rendements

Nous résumons ici les méthodes culturales pour donner le cadre à l'exposé qui suit et nous ne les aborderons plus en détail que pour donner les raisons pédologiques qui sont à la base du choix de ces méthodes.

En ce qui concerne l'exposé purement agronomique nous renvoyons au "Rapport de Mission au Soudan" de E.HIBON.

I/- METHODES CULTURALES -

Sur 364.560 ha en culture irriguée on compte pour 1950-1951:

86.940 ha en coton
46.200 ha en sorgho
23.940 ha en Dolichos lablab

au total	157.080 ha
il reste	207.480 ha en jachère

La rotation culturale utilisée le plus souvent est la suivante :

Jachère	-	Sorgho	-	Jachère ou Dolichos	-	Jachère	-	Coton
I		2		3		4		5
Jachère	-	Jachère	-	Coton				
6		7		8				

Pour la 3^e année 55 p. cent des sols sont en Dolichos, ce qui fait que chaque année 75 p. cent de la récolte de coton est fournie par des sols qui sont restés 2 ans en jachère.

Précisons que le terme de jachère est utilisé pour la commodité de l'exposé. En théorie la jachère en Gezira consiste à maintenir le sol complètement nu par des desherbages réguliers. En pratique le desherbage ne peut pas toujours se faire aussi souvent qu'on ne le désirerait.

.... /

Les opérations culturales débutent en octobre par la préparation du sol. Le labour et billonnage s'effectuent en une seule opération à 20 cm de profondeur avec des charrues tirées par câble d'une extrémité à l'autre des parcelles au moyen de treuils actionnés par Diesels. Ces travaux sont en principe terminés en février. Les canaux d'irrigation et les diguettes sont faites mécaniquement .

Le semis du coton se fait à la main entre le 10 et le 25 août à raison de 15 kg à l'hectare. La date de semis varie avec l'importance de la pluviométrie. Dans la partie nord de la Gezira plain on sème après irrigation .

Les espacements sont de 80 cm entre les raies et 40 sur la raie, le démariage à 3 pieds .

Les irrigations débutent en septembre et se terminent fin mars. La récolte débute fin décembre et se poursuit jusqu'à la fin avril .

Après chaque récolte les pieds sont arrachés et brûlés sur place .

Les semis de sorgho se font en juillet. C'est une culture qui ne reçoit généralement que peu d'irrigation (3 à 4) et qui arrive à maturité fin octobre. Les semis de Dolichos se font vers le 15 septembre, et demandent environ 7 irrigations avant d'arriver à maturité fin janvier .

II/- EVOLUTION DU SOL SOUS CULTURE -

1^o/- Préparation du terrain -

La préparation du terrain réduite au simple labour et billonnage sans aucun sous-solage ni aucun travail de planage ou de pulvérisage est la conséquence du caractère physique de cohésion extrêmement faible des sols que nous avons mentionné plus haut.

Cette pratique culturale montre clairement qu'il y a peu d'évolution de la structure sous culture, du moins avec les rotations utilisées .

2^o/- Choix des rotations -

De nombreux essais agronomiques ont été faits depuis 30 ans et sont encore suivis partiellement . Il ne s'agit pas ici d'en faire un exposé (voir rapport E.HIBON). Notons simplement les conclusions qui sont directement en rapport avec le sol

a/- Une première série d'essais de rotation triennale montre l'action néfaste du sorgho sur les récoltes qui suivent. Les types de rotations se classent dans l'ordre suivant :

meilleurs -----CJJ CSJ CDJ CSD CDS CSS-----mauvais

(C=coton, J=jachère, D=dolichos, S=sorgho)

On voit que cette action néfaste est atténuée par la jachère ou par le Dolichos .

Du point de vue pédologique cette action du sorgho ne se traduit pas par une exportation d'éléments minéraux, mais par une diminution de l'activité microbienne et en particulier par une diminution de la nitrification .

b/- Une deuxième série d'essais de rotation quadriennale montre que les récoltes de cotons sont d'autant plus importantes que le coton est plus éloigné de la sole sorgho ou même dolichos et que son rendement est maximum quand il est précédé de 2 années de jachère.

Du point de vue pédologique, on voit se rétablir le taux de nitrate du sol et ce taux reste en relation directe avec les rendements de coton. Parallèlement les rendements de sorgho sont d'autant meilleurs qu'ils sont séparés de la sole coton par 0, 1 ou 2 années de jachères .

Il apparaît donc d'après ces essais que le sorgho est une culture qui détériore les sols et que la jachère - bien que le sol soit maintenu à nu - est une pratique de régénération du sol, supérieure à une légumineuse telle que le Dolichos: structure améliorée et taux de nitrate accru .

Ajoutons que des mesures nombreuses sur la structure (méthode par dispersion) ont été faites et viennent confirmer l'action néfaste des cultures de sorgho sur les qualités du sol .

Précisons enfin que la méthode utilisée pour évaluer l'importance de la nitrification est la méthode chimique de dosage des nitrates. Aucune méthode microbiologique n'a été utilisée à ce sujet.

Ces mesures ont été effectuées depuis 1940 deux fois par mois .

Le prélèvement d'éléments minéraux à partir du sol. De façon générale, il n'a été observé de diminution dans la richesse en éléments échangeables du sol .

Par contre, si les récoltes semblent liées, toutes choses égales par ailleurs, à la teneur en nitrate du sol (valeur moyenne annuelle) elles sont aussi directement liées à l'importance des pluviométries dans la période qui précède le semis.

Les analyses de 20 plants de coton pris sur chacune des quatre répétitions constituant les essais ont montré qu'il n'y avait pas relation directe entre la récolte et la quantité d'azote prélevée dans le sol et qu'au contraire pour des années où la pluviométrie avant les semis était plus forte, le taux d'azote et d'éléments minéraux, prélevés par la plante (K₂O - P₂O₅ - CaO) était proportionnellement plus faible.

TABIEAU LIX

JEWITT (Gezira Soil)

Composition en p.cent de matière sèche .

1949/1950.

Rotation	Poids	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	Rend.final
I C H J	11.0 k	3.12	2.97	0.85	5.54	3.59
2 C S J	17.8	3.49	3.09	0.90	5.60	3.74
3 C S S	16.2	3.23	3.10	1.03	5.27	2.55
4 C D J	15.2	3.45	3.12	0.85	5.71	4.13
5 C S D	20.15	3.69	3.23	0.85	5.95	4.16

1950/1951

Rotation	Poids	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	Rend.final
I C J J	11.4 g	2.78	2.88	0.86	5.12	6.39
2 C S J	11.5	2.76	2.80	0.94	4.97	5.56
3 C S S	11.6	2.97	2.86	1.00	4.84	3.03
4 C D J	14.1	3.08	3.18	0.75	5.28	7.43
5 C S D	16.5	3.19	3.18	0.75	5.01	6.24

1951/1952

Rotation	Poids	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	Rend.final
I C J J	25.1	4.29	3.12	0.95	6.99	3.64
2 C S J	21.7	4.00	3.24	0.94	6.31	3.04
3 C S S	21.1	3.46	3.15	1.11	5.60	2.01
4 C D J	33.7	4.12	3.00	0.76	6.33	4.84
5 C S D	33.4	4.28	3.36	0.83	6.51	4.12

.../...

Moyennes annuelles comparées .

Années	Poids	N	K2O	P2O5	CaO	Rend.final
I949/I950	16 g	3.4	3.1	0.89	5.6	3.6
I950/I951	13	3.0	3.1	0.86	5.0	5.7
I951/I952	27	4.0	3.2	0.92	6.4	3.6

Pluviométrie relevée pendant ces années du 1^{er} Juin au 15 août :

I949/I950 68 mm
 I950/I951 169 mm
 I951/I952 34 mm

3^o/- Le sel dans le sol et le sodium -

Jusqu'à présent il n'a été constaté aucun phénomène de remontée de sel dans le sol. En fait, une certaine quantité de Na est apportée par les eaux d'irrigation. Cette question sera traitée ultérieurement dans le chapitre sur les améliorations apportées au sol.

III/- RELATION ENTRE LE SOL ET LES RENDEMENTS ←

Un certain nombre de propriétés du sol ont été étudiées en Gezira, qui sont en relation directe avec la fertilité du sol, c'est-à-dire avec les récoltes obtenues. Parallèlement, des méthodes ont été établies pour mesurer ces facteurs :

a/- "Sodium uptake"

C'est la quantité de sodium prélevée par le sol à partir d'une solution de CO_3Na_2 . Les carbonates de calcium et de magnésium étant très peu solubles en présence de ce sel, les bases Ca et Mg divalentes sont déplacées par le sodium et une partie de CO_2 passe sous forme de carbonate insoluble de Ca et Mg.

Dès lors, une simple mesure de conductivité indique la fin de la réaction et la quantité de Ca et Mg échangée .

OAKLEY, GREEN ont montré que cette quantité correspondait exactement à la quantité de Ca et Mg échangeable dans le sol.

...../.....

Des mesures faites sur 115 échantillons ont montré que le coefficient de corrélation avec les récoltes était de 0,46 et pour un autre groupe de 75 échantillons + 0,58.

Cette relation est facilement explicable par le fait que parmi les sols qui possèdent le plus de bases divalentes pour une même quantité d'argile, sont ceux qui possèdent le moins de sodium échangeable et ont également des propriétés physiques meilleures.

D'autre part il a été aussi constaté que les sols possédant le plus d'argile sont habituellement les meilleurs.

Notons que ce n'est cependant pas cette méthode qui est utilisée pour l'évaluation des bases échangeables ou "swelling test".

b/- Sediment volume -

Le sol mis en présence d'une solution de carbonate de soude présente également un autre phénomène mesurable.

La masse de sol en contact avec $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ forme une suspension due sans doute à la dispersion de l'argile en contact avec le sodium et son volume après sédimentation devient nettement supérieur au volume initial. Cet accroissement de volume exprimé en pour cent de terre séchée à l'étuve est appelée "sédiment volume".

Le "sédiment volume" est en relation directe avec la quantité d'argile et le "sodium uptake". Les matériaux formant la surface du sol gonflent beaucoup moins que les matériaux de profondeur. Si l'on n'oublie pas qu'il existe dans ces sols un mouvement perpétuel des agrégats de la surface vers la profondeur par le moyen des fentes de retrait, on en arrive à conclure que la surface du sol a vu ses propriétés physiques améliorées par l'exposition à l'air et à la sécheresse et que la profondeur du profil acquiert au contraire des propriétés plus mauvaises au contact d'une humidité constante et des sels.

Ceci a été confirmé au laboratoire par des mesures qui montrent que le sédiment volume, est plus grand quand on accroit le temps d'agitation préalable et qu'au contraire il est diminué par des séchages préalables intermittants à l'étuve.

Enfin, sur le terrain le sédiment volume, évalué sur sol ayant reçu de nombreuses irrigations est toujours plus grand que ceux mesurés sur des sols après une longue période de jachère. Cette évolution des propriétés physiques du sol est réversible.

Les résultats suivants confirment ce qui a été dit et montrent en outre (tab. XL) que le sédiment volume traduit les mauvaises qualités d'un sol même à très grande profondeur.

TAB. XL JEWITT (Gezira Soil)

Les valeurs A et B pour un sol bon et un sol mauvais de DUEIM

Profondeur	Profil 5 : Bon A	B	Profil 6 : Pauvre A	B	Profil 2: Mauvais A	B
0-30 cm	4.3	112	5.9	154	5.9	176
30-60	5.4	152	6.8	196	10.2	292
60-90	5.1	158	6.1	192	7.9	256
90-120	5.4	172	5.5	218	8.5	324
120-150	5.0	170	6.0	210	8.7	290
150-180	5.0	174	5.8.	224	8.5	316

Sédiment volume - volume du sol sec

A = -----

(g. d'argile dans 20 g. de sol)

Sédiment volume

B = -----

Sodium uptake

TAB. XLII JEWITT (Gezira Soil)

Sédiment volume c_p pour 20 g de sol

	0 - 30	30 - 60
Jachère après jachère	67	94
Jachère après culture	69	103
Coton après jachère	68	95
Coton après culture	72	106
Doliches après culture.....	74	108
Sorgho après sorgho.....	73	118
Sorgho après coton	76	113

c/- Sodium value -

On a vu l'importance qu'avait le sodium dans le complexe absorbant des sols de Gezira. C'est cet élément, avec les sels solubles, qui confère au sol ses propriétés physiques bonnes ou mauvaises et en particulier qui régit les relations entre l'eau et le sol.

Devant l'importance de cette interaction sol et sodium, SNOW chercha pour les sols du "pump scheme" de Dueim les relations entre les récoltes de coton et les teneurs en sodium échangeable et sodium soluble.

Nous ne nous étendrons pas sur la mise en place des essais agronomiques correspondants; disons simplement que les analyses portent sur 303 parcelles de 2 ha chacune et que les rotations sur ces parcelles étaient définies depuis 1928 jusqu'à 1935 date de ce travail de recherche.

Les récoltes de chaque parcelle furent évaluées chaque année, en pour cent de la moyenne sur la totalité de l'essai et cette évaluation donnait alors un schéma approximatif de la fertilité du terrain.

Parallèlement, et pour essayer d'avoir au laboratoire une méthode de mesure rapide, SNOW évalua en bloc le sodium échangeable + sodium soluble, par unité d'argile dans les 90 cm supérieurs du profil pédologique. Cette valeur est exprimée en méq. gr. de Na éch + Na sol. Pour 100 g. d'argile. L'importance d'une quantité de sodium dans le sol était en effet fonction de la nature et de la quantité du complexe absorbant.

Nous donnons ci-dessous les résultats :

...../.....

TABLEAU XLIII JEWITT (Gezira Soil)

"Sodium values" - Parcelles de Dueim

Bonnes parcelles				:	Mauvaises parcelles			
Parcelle	Rend. p.cent reel argile	Sodium Value		:	Parcelle	Rend. p.cent reel argile	Sodium Value	
20	I06	63	I3	:	78	37	53	35
22	I07	63	I4	:	IO I0I	39	42	I5
35	II2	60	II	:	8I	49	30	36
65	II4	60	I2	:	77	50	54	33
86	II6	63	I7	:	79	55	56	I4
66	I23	64	IO	:	7	67	49	45
23	I28	6I	32	:	80	67	57	29
39	I29	7I	9	:	8	70	57	27
2I	I3I	68	I2	:	49	70	49	29
94	I6I	68	IO	:	6	7I	50	32
72	I63	84	IO	:	27	7I	56	32
92	I68	66	IO	:	50	7I	50	28
93	I80	69	II	:	76	77	47	39
70	I92	68	II	:	43	82	59	27
70	205	76	IO	:	44	87	59	26
Moyenne	I4I	67	I3	:	Moyenne	64	5I	32

Le calcul statistique donne un coefficient de regression des récoltes par rapport au "sodium value" de 2,83 pour $t = 6,4$.
(pour $P = 0I, t = 2,58$)

Les résultats sont donc tout à fait significatif .

Seuls les échantillons I6,23 et IOI semblent aberrants; en fait les deux derniers correspondent à des conditions différentes de l'ensemble .

Ces résultats furent appliqués dans la plaine de Gezira et le degré de corrélation (0,267) entre le sodium value et la récolte actuelle a été trouvé très significatif. Plus le sodium value est faible, plus les résultats sont élevés .

Les résultats pour l'utilisation des sols en culture irriguée ont permis de déterminer trois catégories de sols;

bon avec sodium value inférieur à 25
moyens avec sodium value compris entre 25 et 35
mauvais.....avec sodium value supérieur à 35.

...../.....

IV/- DETERMINATION DU CHOIX DES TERRAINS UTILISABLES-

a/- Prélevement des échantillons -

Toute zone d'extension projetée pour la culture irriguée du coton est soumise à un premier examen pédologique sur le terrain.

Des fosses pédologiques sont creusées à raison d'une par 50 ha pour donner un schéma au 1/20.000^e du périmètre envisagé. Les descriptions de chaque profil ~~sont~~ faites sur fiche par un personnel spécialisé indigène. Cette description se fait sommairement: texture, présence ou non de fente de retrait, de concrétions calcaires ou de cristaux de gypse, profondeur des racines.

Une série d'échantillons est prélevée tous les 30 cm de profondeur avant l'irrigation.

L'ensemble des échantillons est expédié au laboratoire de Wad Madani.

b/- Tests utilisés et méthodes .

Dans l'analyse de routine effectuée au laboratoire, les 3 échantillons pris de 0 à 90 cm de profondeur sont mélangés après broyage pour n'en donner qu'un moyen correspondant au 90 cm de profondeur. Les analyses effectuées sont l'analyse mécanique en vue d'avoir le taux d'argile, puis l'extraction du sodium échangeable et du sodium soluble est faite par le Cl NH_4 pour calculer le sodium value.

Enfin, une mesure conductimétrique est faite pour donner la teneur en sels solubles .

En fait, le sodium value, seul est utilisé pour déterminer la qualité du terrain, et autorise à rejeter ou agréer le projet d'extension .

Dans le cas où un terrain choisi comme terrain valable pour la culture irriguée du coton ne donne pas entière satisfaction un dosage d'azote nitrique est effectué et cette valeur suffit généralement à expliquer les différences de rendements constatées. (Voir méthodes d'analyses - Annexe).

V/- TECHNIQUES D'AMELIORATION DES QUALITES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU TERRAIN -

a/- Amélioration des qualités physiques du terrain -

Structure : On a vu que le choix de la rotation et la pratique de la jachère longue constituait une méthode d'amélioration de la structure du sol .

Les techniciens de Wad Madani ont pensé cependant qu'un amendement calcique pouvait sans doute améliorer la structure et en particulier accroître, la perméabilité du sol .

Des expérimentations ont donc été mises en place en vue d'utiliser des apports de gypse à raison de 4,6 t par ha. Après une semaine de submersion l'eau pénètre généralement à une quarantaine de centimètres plus profondément .

Les mêmes expérimentations faites avec des apports de sulfate de soude de sulfate de potasse ont montré que la perméabilité était accrue dans tous les cas, un peu moins toutefois avec le sulfate de soude. Ceci montre que :

1^{re}/- L'amélioration obtenue est due à l'action flocculante des sels et non entièrement au phénomène d'échanges de cations opérés sur le complexe absorbant .

2^{de}/- L'action d'un amendement calcique sous cette forme ne peut être que momentanée .

3^{de}/- Que la compacité du sol due au taux argileux ne permet pas l'échange rapide des cations du complexe absorbant en raison du mouvement très lent de l'eau dans le sol .

Pour ces raisons et en relation avec les considérations économiques (prix de l'amendement, de son transport et plus value de la récolte correspondante) l'utilisation de l'amendement calcique a été abandonné.

L'amélioration de la structure physique du sol par le drainage en vue d'accroître la vitesse des phénomènes d'échanges et d'évacuer les sels sodiques a également été étudiée. Bien que l'apport de gypse améliore le drainage, il est apparu que le drainage n'offrait aucune possibilité d'amélioration des sols de Gézira .

b/- Amélioration des qualités chimiques du sol -

I/- Azote - Matière organique -

Le taux extrêmement bas et uniformément réparti dans toute la plaine de Gezira (0,3 P.mille en moyenne) apparaît comme l'un des facteurs principaux, limitant la production. Le taux de l'azote nitrique n'est pas particulièrement bas (8 p.p).

De nombreuses analyses ont été faites et sans qu'une explication satisfaisante puisse être donnée, il apparaît qu'il n'y a pas eu de diminution du taux d'azote organique depuis 20 ans .

Il y a par contre de très grandes variations du taux d'azote nitrique et sur 14 années de culture, on constate que les rendements sont étroitement liés à la moyenne d'azote nitrique pendant la période d'août à novembre .

Depuis 30 ans le taux moyen annuel d'azote nitrique a diminué .

Réponse aux engrais -

Des essais de fumure minérale N.P.K. ont été faits par CROWTHER sur le sol de Gezira et ont montré que seul l'azote donnait des résultats satisfaisants : le gain moyen de production de coton graine s'établissant à 7,800 kg. d'azote pour un apport de 26 à 52 kg. par 0,400 ha. plusieurs formes d'azote ont été employées et ont montré que les variations de récoltes correspondaient alors nettement aux taux d'azote dans l'engrais organique, le $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)$ venant en tête .

Ces résultats ont été également significatifs pour le Sorgho qui donne un accroissement de rendement de 33 kg. (épi) par kg. de N.

Enfin la fumure animale a été également essayée au champ et au laboratoire. Ces essais ont montré que l'urine donnait les mêmes résultats que le $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$ pour des taux d'azote égaux.

Aux champs l'accroissement de récolte après stabulation de 35 bêtes par 0,400 ha. pendant 4 nuits, correspond uniquement à la quantité d'azote contenue dans les urines ainsi apportées, les autres déjections n'intervenant que très peu .

Dans la pratique les apports de $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$ se fait à raison de 50 à 100 kg. par 0,400 ha.

Il est reconnu que les légumineuses et en particulier le Dolichos apportent de l'azote au sol, mais l'engrais vert n'est pas pratique. On estime que son utilisation correspondrait sous ce climat à une mobilisation de l'azote sous une forme organique dont la décomposition n'est pas assez rapide pour être utilisée par les plantes cultivées.

Ceci explique une fois de plus la pratique de la jachère nue en Gézira.

2°/- Amélioration du taux salin -

En aucun cas il n'a pu être observé de remontée saline, perceptible par l'analyse chimique. Cependant, chaque année l'eau d'irrigation puisée dans le Nil apporte une certaine quantité de sodium très faible.

TABLEAU XIX JEWITT (Gézira Soil)

Composition des eaux du Nil bleu

	Dans l'eau
Solides en suspension	689 ppm
Solides dissous	115
Si O ₂	21.3
Cl	1,7
SO ₃	4,7
CO ₂	32,7
CaO	27,3
MgO	12,4
Na ₂ O	6.5
K ₂ O	2.7

La comparaison des eaux d'irrigation prises dans le canal principal et des eaux du Nil ont d'ailleurs montré, sans que le phénomène soit encore expliqué que les quantités de sodium et de calcium étaient supérieures dans les canaux et que le rapport Na / Ca était inférieur.

Cet apport de sodium par les eaux d'irrigation a été évalué, d'une part, et le tableau ci-dessous montre parallèlement les quantités de sels minéraux exportés par le coton et par une culture comme celle de l'Atriplex.

On peut donc conclure que pour réduire de moitié le taux de Na éch. + sol. dans les 90 cm supérieurs du sol, il faudrait environ 35 récoltes d'Atriplex. (Salt bush)

D'autre part pour éliminer le sodium apporté par les eaux d'irrigation, il faudrait une culture d'Atriplex tous les 12 - 13 ans. par contre, les quantités d'azote prélevées pour la culture d'Atriplex sont telles, qu'on ne peut pas le faire rentrer dans le cycle cultural .

Actuellement aucune pratique de ce genre n'a encore été faite .

TABLEAU XXXIX - JEWITT (Gézira Spil)

Poids des constituants présents dans le Saltbush, coton, l'eau d'irrigation et le sol en livre par acre.

	Retiré par		Ajouté par		Présent dans le sol			
	4 tons de 3k./I/2	récolte de de culture	par l'eau d'irri	gation	comme bases solubles dans l'eau			
	saltbush	de coton	3000 tons	6000ts	1 ^e	2 ^e	3 ^e	4 ^e
Ca	97	un peu	157	315	32300	60300	85400	-
Mg	33	un peu	34	69	3100	4140	6200	-
Na	557	un peu	65	130	4880	17600	32200	-
K	101	8	13	26	1660	4970	7450	-
N	198	60	3	6	1030	1990	-	-
P205	41	2	-	-	5670	-	-	-
S	43	-	16	31	-	11	970	2040
Cl	552	-	16	32	110	272	640	1610

TABLEAU COMPARATIF DES SOLS DU SOUDAN ET DES SOLS DU TCHAD

	SOLS DU SOUDAN	SOLS DU TCHAD
ECOLOGIE	:Climat plus sec :Homogénéité :Grandes surfaces :Pas de nappe phréatique	:Argiles à concrétions calcaires :Sols jeunes :Grandes surfaces :Nappe présente variable
PROFIL	:HORIZON de surface à structure fine :Cohésion extrêmement faible :Présence de gypse en profondeur :Apparence limoneuse de surface	:Argiles brunes tropicales :Homogénéité :pas de grandes surfaces :Nappe présente variable
CARACTERES CHIMIQUES	:Sel - Présence d'éléments salés en profondeur :Taux salin généralement élevé :Selfmulching d'homogénéisation :Lessivage des sels en profondeur :Effet d'efflorescence en surface :Composition des sels solubles: :Bases - Très élevées :Argile - Montmorillonite :pas d'appauvrissement ou peu par culture :Accroissement de Na vers le Nord (P.inf. Ev.sup) :N - Azote total très faible :PH - Basique	:Parfois horizon fortement salé :Pas de selfmulching - Un peu sur les sels récents, mais peu profond. :néant :néant :Moyenne :Kaolinite - illite :? :Accroissement de Na vers le Nord :Azote en double quantité dans les argiles du Logone: :Acide sauf dans les argiles à concrétions calcaires :Neutre à basique

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	:Uniformité remarquable du	:Accroissement de l'argile:	:Accroissement de l'argile
	:profil en argile	:en profondeur	:en profondeur
	:CO ₃ Ca dans les sables grossiers	:Pas de sables grossiers	:Pas de sables grossiers
	:	:sauf dans les argiles à	:
	:	:concrétions calcaires	:
	:Dispersion des argiles	:Dispersion des argiles	:Dispersion des argiles
	:L'eau accroît la dispersion	:	:
	:	:	:
	:Caractéristiques physiques au-	:	:
	:tres :	:	:
AMELIORATIONS	:Perméabilité de 60 à 90 cm	:40 à 50 cm	:40 à 50 cm
	:Inondation 90 à 120 cm	:donc moins	:donc moins
	:	:	:
	:SO ₄ Ca amendement pas rentable	:Encore moins rentable, et	:Sans doute rentable
	:	:difficulté car pH acide	:
	:SO ₄ (NH ₄) ₂	:peut être utilisé, mais as	:peut-être utilisé
	:	:socié à CO ₃ Ca	:
	:Pas d'effet résiduel	:Vraisemblablement pas	:Pas d'effet résiduel (proba
	:	:d'effet résiduel	:blement
	:	:	:

- CONCLUSIONS -

I/- LA NAPPE PHREATIQUE -

Elle ne pose aucun problème en Gézira. Nous ne pouvons absolument pas en dire autant pour le Tchad puisque assez souvent elle est à des profondeurs variables, spécialement dans la plaine de Bongor.

Son rôle dans le sol doit donc être étudié plus spécialement et ce n'est pas en Gezira qu'on peut trouver la solution des problèmes qu'elle posera.

Peut-être, chez nous la très mauvaise structure de profondeur est-elle due à la présence de cette nappe.

2°/- LA COHESION - PERMEABILITE -

Elle est extrêmement forte dans tous nos sols du Tchad qui demandent de très gros travaux de préparation.

Le "selfmulching" que l'on observe généralement dans tous les sols de Gezira ne se rencontre jamais dans nos sols, où il est limité pratiquement aux 20 ou 30 premiers centimètres de profondeur, quand il se produit. La structure massive de profondeur du sol interdit tout "mouvement du sol". Il en résulte presque toutes les autres différences que nous pouvons constater : grande homogénéité sur tout le profil de Gezira, perméabilité accrue et aucune modification de la salure du sol en surface.

Ces caractères des sols de Gezira permet donc une mise en valeur plus facile et élimine une bonne partie des difficultés rencontrées chez nous pour la préparation des terrains.

3°/- CARACTERES CHIMIQUES -

Les sols de Gezira sont extrêmement riches en bases échangeables (50 méq), ce qui prouve que les réserves le sont également.

Il n'est donc absolument pas certain que nos sols du Tchad ne présentent pas un jour quelques carences.

Par contre, aussi bien dans les argiles à concrétions calcaires que dans les argiles récentes du Logone ou dans les argiles Noires Tropicales, les taux d'azote sont beaucoup plus élevés qu'en Gezira. Il reste à savoir si chez nous aussi la forme N nitrique est la seule qui soit en relation avec les rendements.

Malheureusement l'évolution saisonnière des taux nitriques des sols impose au pédologue de nombreux échantillonnages (2 par mois au Gezira) et il ne semble pas, actuellement, avec nos moyens de travail et le programme de prospection générale en cours, que nous puissions attaquer sérieusement le problème.

Enfin du point de vue salure du sol, il paraît évident que le taux que nous avons dans nos sols tchadiens ne doit généralement pas être un facteur limitant de production. Nous devons seulement faire une réserve quant à l'évolution de la salure, sous irrigation en particulier. L'eau du Chari ou même du Logone n'est pas plus chargée en sels ou sodium que les eaux du Nil.

Soulignons l'importance donnée par les Anglais au sodium, qui régit toutes les caractéristiques physiques du sol; mais si ce problème n'est pas nouveau, il apparaît par contre, que les méthodes d'amélioration du sol du point de vue chimique sont très limitées du fait des taux argileux très élevés et de la circulation de l'eau difficile dans le sol.

L'emploi du sulfate de calcium qui pourrait être préconisé au nord de FORT-LAMY où les pH sont basiques, est difficilement admissible dans la région de Bongor où le sol est déjà très acide. Il pourrait y être là associé à des amendements calcaires. En tout cas, il est à peu près certain que l'action d'amendement sous forme de gypse sera chez nous aussi sans effets résiduels.

Enfin du point de vue azote, il n'apparaît pas nettement que les apports de sulfate d'ammonium soient d'une importance aussi grande chez nous où les taux d'azote sont beaucoup plus élevés.

De l'ensemble de cet exposé, nous tenons à souligner enfin l'importance de l'expérimentation en Station ou en grande culture qui par sa continuité depuis une trentaine d'années a permis aux Anglais :

1^o/- D'établir un parallélisme remarquable entre l'évolution du sol et les mesures physiques ou chimiques de Laboratoire;

2^o/- De caractériser à coup sur, les qualités de leurs sol à l'aide de quelques analyses clef.

Il n'est pas question d'appliquer, bien entendu, intégralement ces résultats aux sols tchadiens, mais il est bien certain que notre travail doit s'orienter dans ce sens malgré les moyens puissants que cela implique.

A N N E X E

METHODES

SODIUM UPTAKE (Miscell. Pap. N° 70, MIDDLETON K.R.)

On ajoute d'abord 10 cc d'une solution de carbonate de sodium, à 10 p.cent, à une suspension de 10 g. de terre dans 100 cc d'eau, puis on détermine la résistance électrique de ce mélange 2 ou 3 minutes après. Dans ces conditions, 0,4 à 0,5 g. environ de $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ sont déplacés de la solution. C'est le "sodium uptake" correspondant d'assez près au taux de calcium et de magnésium échangeables présents dans la solution.

SEDIMENT VOLUME (id.)

Réactif : Carbonate de sodium à 10 p. cent.

Estimer l'humidité de l'échantillon au toucher (ceci demande de l'expérience et une certaine pratique) et consulter de tableau I peser une quantité convenable de sol (W g)) dans une éprouvette graduée à col rodé et ajouter un volume d'eau approprié. Agiter à la main pendant 2 minutes et laisser reposer une demi-heure.

Ajouter 10 cc. de réactif, agiter énergiquement pendant 1 minute à la main, puis mesurer la température (T) et la conductivité (K) en milliohms par cm.

Agiter encore pendant 1/2 minute et laisser reposer une nuit. Mesurer la hauteur du sédiment et à l'aide du tableau 2 trouver le volume correspondant (VI cc).

Laver à l'eau le contenu de l'éprouvette sur tamis. Recueillir les particules grossières et mesurer leur volume dans un verre cylindrique gradué (V_2 cc). Sécher et peser (W_2 g).

Déterminer exactement l'humidité de l'échantillon du sol dans des boîtes à tares en le laissant une nuit dans l'étude à 105° C. (Mp.cent)

c/- Tableaux d'étalonnage -

Tableau I : Correction de l'humidité .

Pourcentage d'humidité estimé	Grammes de terre convenables	Grammes d'eau correspondants
0	20	100
5	21	99
10	22	98
15	23	97
20	24	96
25	25	95
30	26	94

Tableau 2 : Etalonnage des éprouvettes graduées

Ceci doit être fait séparément pour chaque série d'éprouvettes, chacune d'elles étant numérotée. L'étalonnage qui doit être exprimé en centimètres cubes par millimètre de hauteur doit être porté à côté du numéro d'ordre de l'éprouvette .

Tableau 3 : Correction de la conductivité .

La conductivité K_1 de la solution à la température T devient la conductivité en millimhos K_2 à 25° C à l'aide de l'équation suivante:

$$K_2 = K_1 \frac{(150 - 2 T)}{100}$$

Le facteur de correction (f) est tiré de la table suivante :

K_2	f :	K_2	f
2.0	0.47	8.5	1.04
2.5	0.52	9.0	1.08
3.0	0.57	9.5	1.12
3.5	0.62	10.0	1.15
4.0	0.67	10.5	1.18
4.5	0.72	11.0	1.21
5.0	0.76	11.5	1.25
5.5	0.80	12.0	1.27
6.0	0.84	12.5	1.30
6.5	0.88	13.0	1.33
7.0	0.92	13.5	1.36
7.5	0.96	14.0	1.39
8.0	1.40	14.5	1.40

d. Calcul des résultats -

$$\frac{10\ 000\ f. (V_1 - V_2)}{(100 - M) (W_1 - W_2)} = \text{Sediment volume}$$

Ce résultat est exprimé en centimètres cubes p.cent de terre séchée à l'étuve (cc p.cent).

e. Notes sur la méthode -

1°/- La quantité de carbonate de sodium absorbé dans cet essai varie d'un sol à l'autre. Pour que les comparaisons puissent être valables, certaines réserves doivent être faites, puisque le volume du sédiment gonflé dépendra en partie de la concentration du carbonate de sodium dans la solution. Dans le calcul, on exprime le "sédiment volume" suivant une solution standard de carbonate de sodium à 0,5 p.cent. On a employé pour trouver ce résultat la correction suivante (voir VAGELER P., 1932, Der Kationen und Wasseraushalt des mineral Bodens, p.95):

$$O = 50 \frac{h^2}{w}$$

dans laquelle O = pression osmotique dans la couche hydratée

h = coefficient hygroscopique

w = humidité dans la couche hydratée

et c = concentration résiduelle du carbonate de sodium

Etant donné que O est la même dans la couche hydratée et dans la solution résiduelle et qu'elle est proportionnelle à c, l'équation précédente devient :

$$c = k_1 550 \cdot \frac{h^2}{w^2} = \frac{k_2}{w^2}$$

or

$$w = \frac{k_3}{\sqrt{c}}$$

Si l'on considère que w doit être proportionnel au sediment volume observé.

$$\text{Sed. vol. obs.} = k \frac{1}{\sqrt{c}}$$

$$\text{Quand } c = 0.5, \text{ Sediment volume} = \frac{k}{\sqrt{0.5}}$$

D'où

$$\frac{\text{Sédiment volume}}{\text{Séd. vol. obs.}} = \frac{c}{0.5} = 2c$$

ou bien Sédiment volume = 2 c. Séd. vol. obs.

2 c = facteur de correction f.

2^e/- Au cours des essais faits au laboratoire, on a pu constater des changements dans le "Sédiment volume" après un long contact entre le sol et des solutions alcalines; il est de même lorsque l'on porte l'échantillon de sol, alternativement de 105° à la température de la pièce .

Au champ, on a pu aussi constater des différences dans le "sediment volume" avec la profondeur, correspondant à des changements de salure et perméabilité. Il en est de même lorsqu'il y a des variations dans l'irrigation et dans la pratique de la jachère. Cet essai peut cependant être considéré comme une mesure de la condition physique du sol et par extension être une explication de la genèse du sol .

3^e/- Les remarques précédentes s'appliquent à un sol ayant la capacité de gonfler sous l'action de l'eau, sol à argile plastique que l'on trouve dans la Gezira soudanaise, ainsi qu'à des types semblables .

Pour des types non plastiques tels que ceux trouvés dans le Soudan méridional ces remarques ne peuvent s'appliquer et le test est de beau^{coup} simplifié en supprimant les mesures électriques et en faisant directement la mesure du volume de l'argile f gonflée. Le test devient alors une méthode rapide pour faire une distinction entre une argile possédant une capacité d'absorption en eau et une argile ne possédant pas cette propriété (voir GREENE H., 1948, Agriculture in the Sudan, p. 166).

SODIUM VALUE - (Gezira Soil, JEWITT)

Na méq. pour 100 g. d'argile.

Dosage du sodium .

Le sol est écrasé et passé au tamis de 1 mm. puis on agite 10 g. de terre fine avec 50 cc de chlorure d'ammonium N/2 pendant quelques minutes. On passe sur un petit filtre. On extrait deux fois de plus avec 25 cc de chlorure d'ammonium, puis on mélange les filtrats que l'on ajuste à 100 cc avec de l'eau. On homogénéise .

A 10 cc d'extrait, on ajoute 1 ou 2 gouttes d'acide acétique puis 25 cc du réactif à l'acétate d'uranium et de magnésium. Après avoir agité quelques minutes, puis laissé reposer 1 h. 1/2, on filtre le précipité sur un creuset de Gooch taré; on lave le bûcher avec une petite quantité de réactif, puis le précipité est entraîné avec l'alcool saturé par le précipité d'acétate de sodium d'uranium et de magnésium. On sèche à 100° 0 pendant 2 heures .

Pour les régions tropicales le réactif suivant convient:

Acétate d'Urame (crist).....	32 g.
Acétate de magnésium (crist. et Na libre)....	130 g.
Acide acétique crist	20 cc
Alcool à 90°	500 cc
Eau	1000 cc

Le poids du précipité multiplié par 65 donne la quantité de sodium en méq. p. 10 g. de sol. Ceci est le résultat obtenu pour le sol séché à l'air, il faut donc faire une correction pour l'humidité .

Le chlorure d'ammonium ne semble pas intervenir, sauf pour quelques impuretés du sodium. Avec un taux élevé de sodium, équivalent environ à 0,5 g. de précipité, le résultat peut être inférieur de 2 ou 3 p. cent. On peut alors utiliser un plus petit volume d'extrait .

=====

=====

T.N. JEWITT Gezira Soils

K.R. MIDDLETON Various Methods for chemical Examination
of Soils - Ministry of Agriculture -
Sudan Government -

— 2 —